

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA MATERIÁLU

Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3911R018 Materiály a technologie
Zaměření: Materiálové inženýrství

Studium vlastností keramických nožů

Study of properties of ceramic knives

KMT – B – 166

Miloš Halama

Vedoucí práce: doc. Ing. Karel Daďourek, CSc.

Počet stran: 41
Počet tabulek: 8
Počet obrázků: 28

Datum: 03. 01. 2011

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá seznámením s keramickými noži, které jsou určené pro domácnost a srovnáním těchto nožů s noži běžnými ocelovými. Srovnáním se ukázalo, že nelze jednoznačně říci, který nůž je lepší či horší. Výsledkem však je základní přehled mechanických vlastností keramiky, ze které je tento srovnávaný nůž vyroben. Bylo zjištěno: Tvrdost keramického nože HV0,5 1328,4 a HV0,01 2073,0 u nože ocelového HV0,5 649,5. Maximální ohybové napětí u keramické škrabky 313,7 MPa a maximální ohybové přetvoření 0,476%. Lomová houževnatost $7,45 \cdot 10^6 \text{ Pa/m}^{1/2}$. Dále byl stanoven typ ostří. U keramického nože se jedná o ostří zoubkované (mikrozuby), u ocelového o ostří rovné. Také byl stanoven tvar a broušení nožů. Zde se v obou případech jedná o ostří klínovité, přesněji o dvojité klínovité.

Klíčová slova: nůž, keramika, ZrO_2 , PSZ (částečně stabilizovaná ZrO_2), Zirkonia

Annotation

This Bachelor's thesis is engaged in getting familiarize with ceramic knives which are assigned for household useage and comparing these knives with common steel knives. This comparison turned out to be that it is impossible to explicitly say which knife is better or worse. But the result is a basic outline of mechanical properties of ceramics, from which the comparison of knives are made. It was discovered : Vickers hardness of the ceramic knife HV0,5 1328,4 and HV0,01 2073,0 steel knife HV0,5 649,5. Maximum stress due to bending of ceramic peeler 313,7 and maximum flexion strain 0.47% Fracture toughness $7.45 \cdot 10^6 \text{ Pa/m}^{1/2}$. Sharpness of the knives was taken into account. The ceramic knife has a serrated blade (microteeth), and the steel one has a straight blade. Shape and sharpening of knives was stated. In both cases it is concerning a cuneiform blade, especially a double cuneiform.

Keywords: knife, ceramic, ZrO_2 , PSZ (Partially Stabilized Zirconia), Zirconia

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum 03. 01. 2011

Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Karlu Daďourkovi, CSc za pedagogické vedení a pomoc při vypracování této bakalářské práce. A také děkuji všem pracovníkům Katedry materiálů, kteří ochotně poskytli odbornou pomoc, rady a připomínky k bakalářské práci.

Obsah:

1. Úvod	7
2. Teoretická část	9
2.1 Historie a současnost keramiky.....	9
2.2 Rozdělení keramických materiálů	10
2.3 Struktura keramiky	11
2.4 Příprava a výroba konstrukční keramiky	14
2.5 Základní vlastnosti keramiky	15
2.6 Budoucnost konstrukční keramiky.....	18
2.7 Keramické nože Ceratio	19
3. Praktická část	22
3.1 Struktura materiálu keramického nože.....	22
3.2 Tvar ostří nože.....	24
3.3 Vzhled ostří	28
3.4 Tvrdost	29
3.5 Pevnost v ohybu	33
3.6 Lomová houževnatost	36
4. Závěr	40
Literatura:	41

1. Úvod

Keramické materiály a keramiku samou zná už lidstvo po dlouhá tisíciletí. Zpočátku sloužila keramika spíše k výrobě předmětů denní potřeby anebo k výrobě dekorací, ozdob a třeba i šperků. Postupně tato keramika dosahovala lepších kvalit a to jak zlepšením mechanických vlastností, tak i změnou způsobu výroby a přípravy.

S rozsáhlým rozvojem průmyslu a vědy došlo také k potřebě rozvoje konstrukčních materiálů. Keramika samozřejmě nebyla výjimkou a zejména v druhé polovině dvacátého století zaznamenal vývoj keramiky mnoho úspěchů. Takto vzniklé nové druhy keramických materiálů nacházejí největší uplatnění zejména ve strojírenství elektrotechnice a elektronice.

Základním stavebním kamenem nových vysoce kvalitních keramických materiálů jsou oxidy hliníku, zirkonia a i neorganické látky rozličných druhů. Tyto nové keramické materiály se označují jako konstrukční keramika.

I přesto, že se dnes už setkáváme s konstrukční keramikou na každém kroku, jsou oblasti, kde použití keramiky stále vyvolává jistou nedůvěru, např. u zákazníků, vlivem zažitých stereotypů. Jednou z těchto oblastí je použití konstrukční keramiky na výrobu kuchyňských či potápěčských nožů.

Já se ve své práci budu zabývat porovnáním keramického nože fy. Kyocera s běžným ocelovým nožem. Dá se říci, že keramické nože nejsou na trhu již žádným nováčkem, ale i tak si své místo v kuchyni stále ještě hledají. Asi si můžeme říci, že keramické nože v kuchyni v dohledné době plně nenahradí nože ocelové. I sami výrobci udávají, na co se keramický nůž použít dá a na co se použít nedá. Určitě jim zatím nebudeme vykostřovat či krájet zmrzlé potraviny, ale i přes to, má keramický nůž, také spoustu předností. Potraviny se při krájení k povrchu nelepí, velmi dobře odolává korozi i chemikáliím a co výrobci považují při dnešním zdravém životním stylu za důležité, při krájení ovoce či zeleniny neničí vitamíny.

Výsledkem této práce nebude jednoznačné stanovení, který nůž je lepší a který je horší. Ono by to ani dost dobře nešlo stanovit, prostě každý se hodí na něco jiného, a

proto mohou vedle sebe v klidu existovat. Výsledkem této práce by mělo být seznámení se s problematikou keramiky obecně, posléze pak konkrétněji s keramikou oxidovou, ze které jsou tyto nože vyráběné. Dále bych rád popsal, jakým způsobem jsou keramické nože vyráběné a jaká rizika tento nůž z keramického materiálu sebou nese. Pak bych přešel k praktické části a experimentálně určil základní parametry dodaného keramického nože, které bych posléze porovnal s dodaným nožem ocelovým. Na závěr bych získané výsledky vyhodnotil a posoudil využitelnost keramických nožů v domácnosti.

2. Teoretická část

2.1 Historie a současnost keramiky

Je třeba, se trochu konkrétněji, než je v úvodu, zmínit o historii keramiky. Jak již bylo psáno, keramické výrobky provázejí člověka již dlouho. Nejstarší keramické nálezy byly učiněny v Číně, kde je stáří nalezených střepů odhadováno zhruba na něco málo přes 10 000 let před n. l.

Mezi nejstarší obory, kde byla keramika využívána, patří hrnčířství. Posléze se používání rozšířilo i do stavebnictví. Nejprve jako pálené cihly a pak se přidali i různé jiné výrobky ve stavebnictví dnes hojně používané (obklady, izolace, krytiny, atd.). To vše se rozvíjelo a rozvíjí až do dnes. Největšího rozmachu však keramika dosáhla ve 20. století. Mám samozřejmě na mysli hlavně keramiku konstrukční. Právě v této době, díky rychle rostoucímu průmyslu a válkám, byl vyvíjen tlak na vznik nových a vylepšování stávajících materiálů. Od padesátých let nachází keramika své místo také ve vesmírném programu. Právě zde jsou uplatňované a dobře využívané některé z hlavních vlastností konstrukční keramiky. V sedmdesátých letech přichází rozmach elektrotechniky a elektroniky a i v těchto oborech nachází keramika své místo, díky svým elektrickým a magnetickým vlastnostem, hned od počátku.

Dnešním světem hýbou auta a vše co je s auty spojené. Tady se také nejvíce může běžný člověk s konstrukční keramikou setkat. U aut se využívá jak dobrá tepelná odolnost těchto materiálů, tak i jejich elektrické a mechanické vlastnosti. Tyto materiály zde mají velkou škálu uplatnění.

V neposlední řadě nastává velké využití těchto materiálů v lékařství. Keramické materiály jsou používány jednak pro výrobu lékařských přístrojů a nástrojů, tak i pro výrobu různých náhrad. Keramika se dá totiž velmi dobře sterilizovat a v tomto stavu dlouho udržovat.

2.2 Rozdělení keramických materiálů

Konstrukční keramiku lze rozdělit podle chemického složení do tří základních skupin:

Oxidová

Neoxidová

Kompozitní

Oxidová keramika

Obsahuje jak materiály získané z jednoduchých kovových oxidů (ZrO_2 , BeO , CaO , MgO), tak taky materiály, které jsou tvořeny složitými sloučeninami ($\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{16}$, MgAl_2O_4 , LiAlSiO_x).

Neoxidová keramika

Tuto skupinu tvoří chemické sloučeniny, tvořené lehkými prvky III. až V.

skupiny Mendělejevovy tabulky

prvků. Jedny z nejvýznamnějších

sloučenin, které tvoří neoxidovou

keramiku, jsou karbidy a nitridy

boru, křemíku a hliníku (SiC , Si_3N_4 ,

BN , AlN). Dále do této skupiny patří

oxido-nitrido-hlinito-křemičitá

keramika, tzv. keramika sialonového

typu. Na obrázku – Obr. 1. je

znázorněn systém, ve kterém mohou

existovat nekovové obtížně tavitelné

sloučeniny.

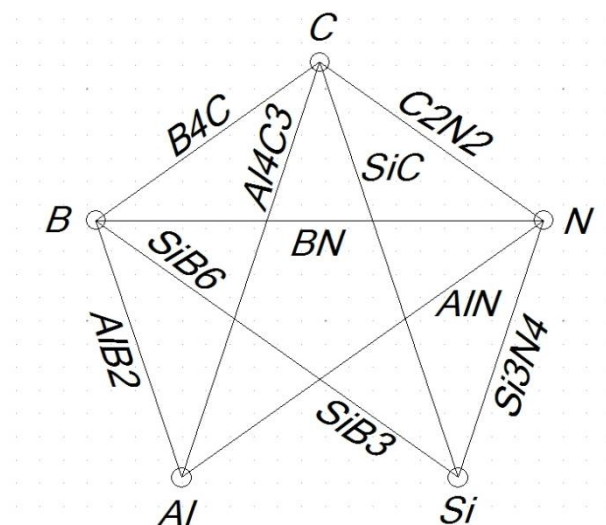
Kompozitní keramika

Zde jsou zahrnuty materiály vícefázových systémů, nejčastěji se používají heterogenní systémy typu:

$\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiC}$ $\text{SiC} - \text{BN}$ $\text{AlN} - \text{BN}$

$\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$ $\text{SiC} - \text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{cordierit}$

$\text{SiC} - \text{SiC}_2$ $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiC}$



Obr. 1

2.3 Struktura keramiky

Struktura keramických materiálů značně ovlivňuje fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti. Strukturu keramiky můžeme posuzovat ze dvou hledisek, jednak z pohledu chemického a fázového složení, tak taky z pohledu mikrostruktury.

Většina keramických materiálů vykazuje schopnost polymorfních přeměn, jinými slovy řečeno, tyto materiály jsou schopny měnit svoji krystalovou mřížku v závislosti na teplotě. Této vlastnosti se u některých keramik hojně využívá. Pro lepší názornost uvádím v tabulce – Tab. 1 přehled několika materiálu a jejich krystalovou modifikaci.

Tab. 1

Materiál	Krystalová modifikace
Al₂O₃	α - Al ₂ O ₃ trigonální
	β - Al ₂ O ₃ trigonální
	δ - Al ₂ O ₃ trigonální
ZrO₂	m - ZrO ₂ monoklinická
	n - ZrO ₂ tetragonální
	k - ZrO ₂ kubická
SiC	α - SiC hexagonální
	β - SiC kubická
BN	k - BN kubická
	h - BN hexagonální

Asi nejvíce se této vlastnosti využívá právě u keramiky ZrO₂. Polymorfii této keramiky znázorňuje obrázek – Obr. 2.

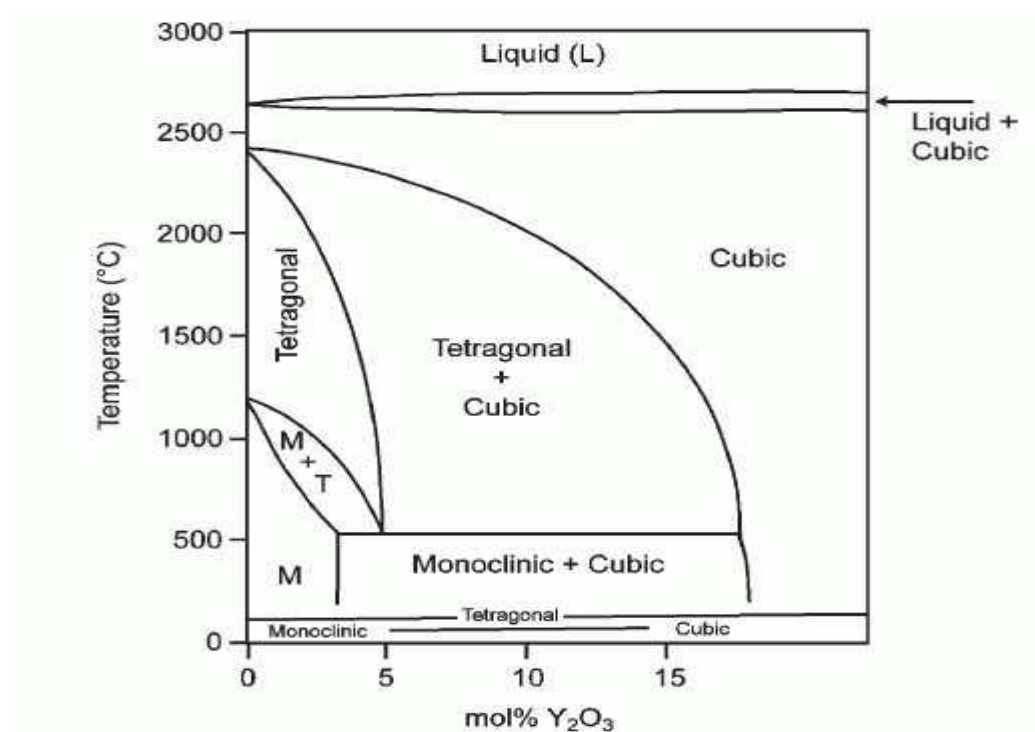
Často se u této keramiky využívá ovlivňování průběhu i teplot polymorfních přeměn přidáním vhodných látek. Tyto látky mohou s keramikou ZrO₂ vytvořit tuhý roztok anebo směsné krystaly. Teplota přeměny se upravuje přidáním vhodného stabilizátoru. Nejčastěji se používá jako stabilizátor CaO, MgO, Y₂O₃, YO₃. Tak lze snížit teplotu přeměny natolik, že nemusí dojít k transformaci

tetragonální modifikace na modifikaci kubickou. Právě takto upravený keramický materiál se nazývá jako stabilizovaná zirkoniová keramika.

Obr. 2

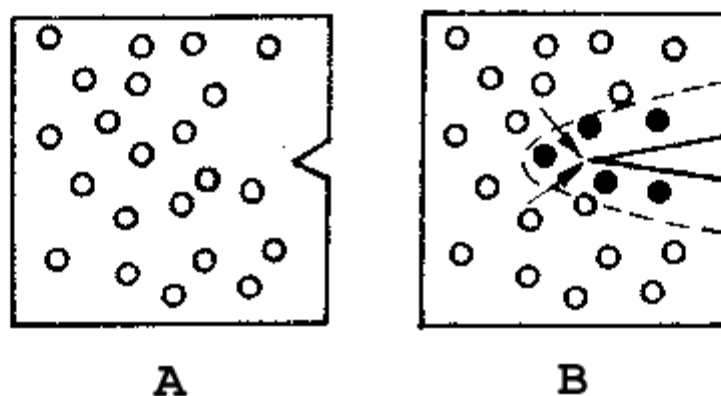
Tavenina	Vysokoteplotní fáze kubická	Středněteplotní fáze tetragonální	Nízkoteplotní fáze monoklinická
ZrO ₂	$\xrightarrow{2710\text{ }^{\circ}\text{C}}$ k - ZrO ₂ $\rho = 6,27\text{ gcm}^{-3}$	$\xleftarrow{2370\text{ }^{\circ}\text{C}}$ t - ZrO ₂ $\rho = 6,20\text{ gcm}^{-3}$	$\xrightarrow{850\text{ }^{\circ}\text{C}}$ m - ZrO ₂ $\rho = 5,56\text{ gcm}^{-3}$ $\xleftarrow{1157\text{ }^{\circ}\text{C}}$

V praxi se také často setkáváme s částečně stabilizovanou keramikou ZrO₂. Zde hraje důležitou roli přeměna tetragonální modifikace na monoklinickou modifikaci. Jedná se o přeměnu bezdifúzní martenzitického typu, kdy nastává při ochlazování k zvětšení objemu zhruba o 3 až 9%. Často se k částečné stabilizaci využívá oxidu Y₂O₃. Na obrázku – Obr. 3 je znázorněn diagram částečně stabilizované keramiky ZrO₂, kde bylo použito stabilizování právě pomocí výše zmíněného oxidu Y₂O₃.



Obr. 3

Při ochlazení takto částečně stabilizované keramiky přetrvává tetragonální modifikace v metastabilním stavu i pod teplotou přeměny. Díky tomu, může v této keramice docházet v oblasti před šířící se trhlinou přeměna tetragonální modifikace na monoklinickou modifikaci a výsledkem nárůstu objemu dochází k zvýšení tlaku na šířící se trhlinu, která je tímto tlakem uzavírána a je tak bráněno dalšímu šíření této trhliny, obrázek - Obr. 4.



Obr. 4

Z hlediska mikrostruktury se keramické materiály moc od kovů neliší. Z velké části se jedná o vícefázové systémy obsahující různé krystalové a amorfní fáze, které jsou tvořeny zrna a hranicemi zrn.

Důležitou vlastností keramiky, která má značný vliv na mechanické vlastnosti, je pórovitost. Nejlepší vlastnosti vykazuje keramika s minimálním obsahem póru. Dalším významným faktorem ovlivňujícím mechanické vlastnosti keramických materiálů je koncentrace nečistot, poruch a přísad, ke které dochází na rozhraní mezi zrna. Tyto nedostatky lze snadno minimalizovat při použití čistějších prášků a také změnou parametrů technologie výroby.

2.4 Příprava a výroba konstrukční keramiky

Tak jako u práškové metalurgie lze metody přípravy prášku pro výrobu budoucí keramiky rozdělit do několika skupin:

- Chemické
- Elektrolytické
- Plazmové tavení
- Atomizace

Pro přípravu keramických prášku se však nejvíce používají chemické postupy. U oxidové keramiky se využívá řízené hydrolýzy, anebo srážení sloučenin technikou sol-gel. A u neoxidové keramiky převládají postupy vysokoteplotní karbtermické syntézy, anebo syntézy halogenidů z plynné fáze.

Asi není třeba zdůrazňovat, že vlastnosti takto získaného keramického prášku rozhodující měrou ovlivňují vlastnosti konečného výrobku. Mezi rozhodující vlastnosti prášku patří alotropická modifikace, čistota prášku a v neposlední řadě velikost zrna. (jemné zrno $< 0,1\mu\text{m}$). Keramické prášky se při dalším zpracování mísí s dalšími přísadami, kterými jsou pojiva, slinovací prostředky, lubrikanty a plastifikátory.

Dalším procesem vedoucím k požadovanému výroku je tvarování. **Tvarováním** dostává prášek základní tvar budoucího výrobku. Při tvarování se nejčastěji užívají tyto metody:

- Lisování
- Izostatické lisování
- Plastické vytváření a vytlačování
- Metoda suspenzního lití do porézních forem
- Injekční vstřikování

Konečné vlastnosti dá keramickému prášku (v této fázi je již po tvarování) **zhutňování a slinování**. Teploty slinování jsou ovlivňované druhem keramiky a orientačně se pohybují kolem 0,5 až 0,8 teploty tání. Tyto teploty se také do značné míry dají ovlivňovat a to přidáním slinovacích přísad anebo se dá proces ovlivňovat působením tlaku. Pro přípravu konstrukční keramiky za vyšších teplot se nejčastěji používají následující způsoby zhutňování keramického prášku:

- Slinování (S)
- Žárové lisování, kdy současně působí tlak i vysoká teplota (HP)
- Žárové izostatické lisování (HIP)
- Reakční slinování (RS), což je metoda, kde se chemickou cestou aktivuje proces spékání (využíváno zejména u neoxidové keramiky)

Po těchto fázích už keramika dostává svoji finální podobu nejčastěji obráběním.

Keramické materiály patří k těžko obrobitelným materiálům, zejména se těžko obrábějí řezáním. Toto obrábění způsobuje šíření trhlin v materiálu a proto se

v současnosti uplatňuje spíše mikroobrábění keramických materiálů diamantovými nástroji s jednou řeznou hranou. Je jasné, že jenom s řezáním bychom u keramiky nevystačili, proto se zde uplatňují i jiné metody obrábění. Jako jedna s nejrozšířenějších metod se používá broušení a následné leštění. Pro jiné účely lze dále využít i metody, pro běžného člověka spíše netradiční a to jsou například obrábění ultrazvukem, vhodné i pro neprůchozí otvory a obrábění elektrochemickým výbojem, které nachází uplatnění při kusové anebo malosériové výrobě.

2.5 Základní vlastnosti keramiky

Budeme-li keramiku srovnávat s kovy, tak můžeme říci, že oproti kovům má keramika některé výhody a také samozřejmě nevýhody.

Výhody:

- nízká hustota
- vysoký modul pružnosti, vysoká tvrdost
- nízký koeficient tepelné roztažnosti
- vysoká teplotní a korozní odolnost
- vysoká odolnost proti opotřebení
- vysoká teplota tání (může být nevýhodná při zpracování)
- stabilita mechanických vlastností v širokém teplotním intervalu
- snadná dostupnost surovin pro výrobu i zpracování keramiky

Nevýhody:

- křehkost

- obtížná reprodukovatelnost výroby složitých tvarů
- velmi náročné opracování
- obtížnější vzájemné spojování mezi keramikou samou, ale i s ostatními materiály

Vlastnosti keramiky lze však posuzovat i jinak, než prostým srovnáním s kovy. Často nás vlastnosti keramiky zajímají v závislosti na teplotě, při které budeme danou keramiku používat.

Vlastnosti za normálních teplot

Pro to abychom mohli stanovit základní mechanické vlastnosti keramiky, potřebujeme znát minimálně tyto údaje:

- mez pevnosti v ohybu R_{mo}
- tvrdost i mikrotvrdost HV
- lomovou houževnatost K_{IC}

Jako velmi stručný přehled uvádím tabulku – Tab. 2

MATERIÁLY		KORUND	ZIRKONOXID	STEATIT	KORDIERIT
		92 – 99,7% Al_2O_3 C 786, C 795, C 799	ZrO_2 – 3% Y_2O_3 C 830	C 220, C 221	C 511, C 520
Objemová hmotnost	g/cm ³	3,65 – 3,90	6,00 – 6,06	2,60 – 2,70	1,90 – 2,00
Otevřená pórovitost	% obj.	0	0	0	cca 20
Pevnost v ohybu	MPa	230 – 330	800	120 – 140	25 – 30
Modul pružnosti	GPa	300 – 350	200	80 – 110	–
Tepelná vodivost (20 - 100°C)	W/m.K	16 – 28	2 – 3	1,5 – 2,5	1,3 – 1,8
Vnitřní rezistivita (20°C)	$\Omega.cm$	10^{14}	10^{11}	10^{13}	–
Relativní permitivita	–	9	22	6	–
VLASTNOSTI		výborné mechanické a elektroizolační vlastnosti, tvrdost, otěruvzdornost, chemická odolnost, vysoká tepelná vodivost, žáruvzdornost, zdravotní a hygienická nezávadnost	výborné mechanické a tribologické vlastnosti, malá tepelná vodivost, chemická odolnost, velká lomová houževnatost	dobré mechanické a elektroizolační vlastnosti	mimofádně nízká teplotní délková roztažnost, velká odolnost vůči teplotním šokům, malá tepelná vodivost
OBLASTI POUŽITÍ		strojírenství, chemický a potravinářský průmysl, čerpací technika, textilní průmysl, elektrotechnika	strojírenství, chemický průmysl, textilní průmysl, měřicí a regulační technika	elektrotechnika	elektrotechnika, tepelná technika
PŘÍKLADY VÝROBKŮ		leštěné těsnící destičky, tělesa pro elektronky, kluzné kroužky, trysky, otěruvzdorné destičky, balistické destičky, podložky	přístrojová ložiska, mechanicky vysoce namáhané konstrukční díly	keramické průchodky, izolační kroužky, držáky, základny	držáky topení, nosiče topných spirál

Výše uvedené hodnoty jsou pouze informativní, nelze je chápat jako garantované parametry.

Tab. 2

Podíváme-li se na keramiku z hlediska mechanického namáhání, dá se říci, že jsou některé vlastnosti pro ni typické:

- hodnoty mechanických vlastností jsou značně závislé na metodě přípravy keramiky a tak vykazují značný rozptyl
- pevnost se pohybuje okolo 200 až 1000 MPa a je značně negativně ovlivněna porozitou
- modul pružnosti nabývá hodnot 100 až 450 GPa a je také ovlivněn porozitou
- keramika má zanedbatelnou schopnost plastické deformace a zejména díky krystalografické struktuře oxidů, nitridů i karbidů, při normální teplotě neumožňuje pohyb dislokací
- má také vynikající tvrdost a odolnost proti obroušení (zejména karbidy)
- lomová houževnatost je relativně malá (vzhledem ke kovům) a nabývá zhruba hodnot od 2,5 až 6 MPa.m^{1/2}
- mechanické vlastnosti, zejména pevnost a houževnatost, lze podstatně zlepšit transformačním zpevněním, anebo také za pomoci whiskerů nebo vyztužením vláken

Vlastnosti za vyšších teplot

Především při teplotách nad 1000°C keramika značně převyšuje svými vlastnostmi zejména kovy. Hlavně díky vysokým teplotám tání oxidů, karbidů a nitridů má keramika vynikající žáruvzdornost. To umožňuje využití keramiky i při teplotách kolem 1400°C až 2000°C. Toho se hlavně využívá u oxidových keramik na bázi ZrO₂ a také u neoxidové keramiky se využívají zejména SiC a Si₃N₄, kde Si₃N₄ má i za těchto teplot velmi dobré mechanické vlastnosti. Dalším faktorem, který u keramiky v souvislosti s teplotou zjišťujeme, je její odolnost proti teplotním rázům. Což se nejčastěji hodnotí podle parametru R (jednotky Kelvin), který vyjadřuje teplotní rozdíl, který vyvolá teplotní porušení materiálu. Tato vlastnost je důležitá zejména při ochlazování.

Další významnou skupinu vlastností keramiky tvoří vlastnosti chemické. Zde je velkou výhodou oproti kovům vynikající odolnost proti plynné korozi a odolnost proti působení agresivního prostředí. Korozní odolnost je dána:

- chemickým složením keramiky
- povrchovou strukturou a porozitou keramiky

- schopností tvorby ochranných vrstev na povrchu

Tvorba povrchových vrstviček je důležitá zejména hlavně u neoxidové keramiky. Tyto vrstvičky zpomalují reakční rychlost a další oxidaci, zejména u keramiky lisované za tepla.

Velké množství keramiky je také velmi odolné vůči kyselinám, elektrochemické korozi a také proti taveninám většiny kovů.

2.6 Budoucnost konstrukční keramiky

Dnes nachází konstrukční keramiky značného využití zejména v leteckém, kosmickém a automobilovém průmyslu. Velmi často se s ní setkáváme i v průmyslu elektrotechnickém. Ale i přes značné výhody keramiky oproti kovům, při různých aplikacích, setkáváme se i s negativní stránkou celé věci a tou je vysoká energetická náročnost na výrobu a přípravu keramiky a také její malou reprodukovatelnost při sériové výrobě. Zde je nutné soustředit pozornost do budoucna, aby bylo možné keramiku masivněji využívat. Ruku v ruce s předešlým, by jsme se měli nadále věnovat zlepšování užitných vlastností keramiky a tím rozšiřovat její aplikační oblast. Zde může velkou roli sehrát oblast kompozitních materiálů s keramickou maticí, například keramika kov, tak jak je tomu u cermetu.

Je vidět, že si keramika za svou existenci již mnohým prošla, ale i tak pevně věřím, že má spoustu nových věcí ještě před sebou.

2.7 Keramické nože Ceratio

Nejprve bych stručně popsal nože značky Ceratio. Nože této značky se u nás řadí mezi nejprodávanější nože společně s noži firmy Kyocera. Bohužel tyto nože jsou výhradně vyráběny pro jednoho prodejce a tak zjistit něco blíže o samotném výrobcí je téměř nemožné. Jediné, co se mi podařilo zjistit je fakt, že se na vývoji a vylepšení nožů značky Ceratio podíleli čeští odborníci z oblasti sklářství a keramiky. To je důkaz toho, že ani v této oblasti naši výzkumníci nezahálí a mají co nabídnout.

Keramické nože značky Ceratio jsou vyráběny z velmi tvrdé keramiky, která se nazývá oxid zirkoničitý – ZrO_2 . Hlavní surovina pro výrobu těchto nožů, je těžena v západní Austrálii, odkud je získaný minerál zirkon odvážen na zpracování do Číny, zde z něj připravují oxid zirkoničitý. A ten je pak následně převážen do firmy, vyrábějící nože značky Ceratio. Před samotnou výrobou nože jsou do prášku z oxidu zirkoničitého přimíchávány různé příměsi, které mají za úkol zlepšit mechanické vlastnosti této keramiky a zvětšit soudržnost po lisování. Dále některé firmy (např. firma Kyocera) přidávají do směsi prášek kovu tak, aby bylo možné zjistit přítomnost těchto nožů za pomoci běžného detektoru kovů. Je to zejména důležité v dnešní době, kdy je hrozba terorizmu na denním pořádku. U nožů značky Ceratio tento problém řeší pomocí střenky, která kov obsahuje. Po vytvoření směsi (prášek oxidu zirkoničitého + příměsí) následuje výroba hrubého tvaru nože. To se děje ve formách za působení velkých tlaků (pro nože značky Ceratio se udává tlak kolem 3000 kg na cm^2). Takto získaný polotovár je však velmi křehký a je proto důležité s ním nakládat velmi opatrně. Pro získání potřebných vlastností musí dojít ke slinování těchto polotovarů. To se děje za působení vysokých teplot po dlouhou dobu. Nože značky Ceratio se vypalují při teplotách v rozmezí 1000 až 1600°C po dobu zhruba 48 hodin a následně pak dochází k pomalému chladnutí na pokojovou teplotu zhruba 36 hodin. Po slinování má už výsledný produkt vlastnosti budoucího nože, avšak tvarem se noži stále jenom hrubě podobá. O noži se tady dá opravdu hovořit, až když proběhne poslední úprava polotovaru a tou je obrábění, přesněji řečeno se jedná o broušení. Postupně je na noži broušením vytvářeno ostří a jsou také sráženy hrany, které by mohli vést ke zranění při

používání nože. Výrobce ve svých propagačních materiálech uvádí, že hrubé broušení je prováděno mechanicky za pomoci diamantových brusných kotoučů a následné jemné broušení a leštění je ruční záležitostí a může trvat až 12 hodin. Po těchto úkonech je nůž již prakticky hotov a stačí už jen připevnit střenku nože a na tělo laserem vypálit obchodní značku nožů Ceratio. Střenka je k noži připevněna za pomoci ultrazvuku. Před balením jsou nože ještě testovány, zda při výrobě nedošlo k poškození čepele a zda je skutečně možné zjistit jeho přítomnost za pomoci detektoru kovů. Na obrázku – Obr. 5 jsou k vidění některé produkty značky Ceratio, které se vyrábějí jak v provedení bílém tak i v provedení černém (je míněna barva čepele).



Obr. 5

Jak je psáno výše, jsou tyto nože vyráběny z oxidové keramiky, přesněji z oxidu zirkoničitého. Jedná se o částečně stabilizovaný oxid zirkoničitý, tak že ve struktuře převládá modifikace tetragonální, avšak modifikaci monoklinickou lze ve struktuře najít také. Pro nože značky Ceratio se stabilizuje oxid zirkoničitý za pomoci 3 mol % oxidu yttria. Díky tomu, že se jedná o částečně stabilizovaný oxid ZrO_2 jsou tyto nože velmi odolné. V tabulce – tab. 3 uvádím některé základní hodnoty částečně stabilizovaného oxidu zirkoničitého.

Hustota	g/cm³	6,00
Pevnost v ohybu	MPa	1000,00
Modul pružnosti	GPa	200,00
Tepelná vodivost	W/mK	2,00
Lomová houževnatost	MPa m^{1/2}	>10
Tvrdost	HV	1300,00

Tab. 3

U nožů značky Ceratio se uvádí jako hlavní oblast využití těchto nožů zejména v kuchyni pro domácnost tak i pro profesionály. S těmi to noži se však můžeme setkat i u potápěčů, to zejména díky schopnosti odolávat korozi, ale také i u pyrotechniků, kde se využívá elektrická nevodivost těchto nožů a také jejich nemagnetičnost.

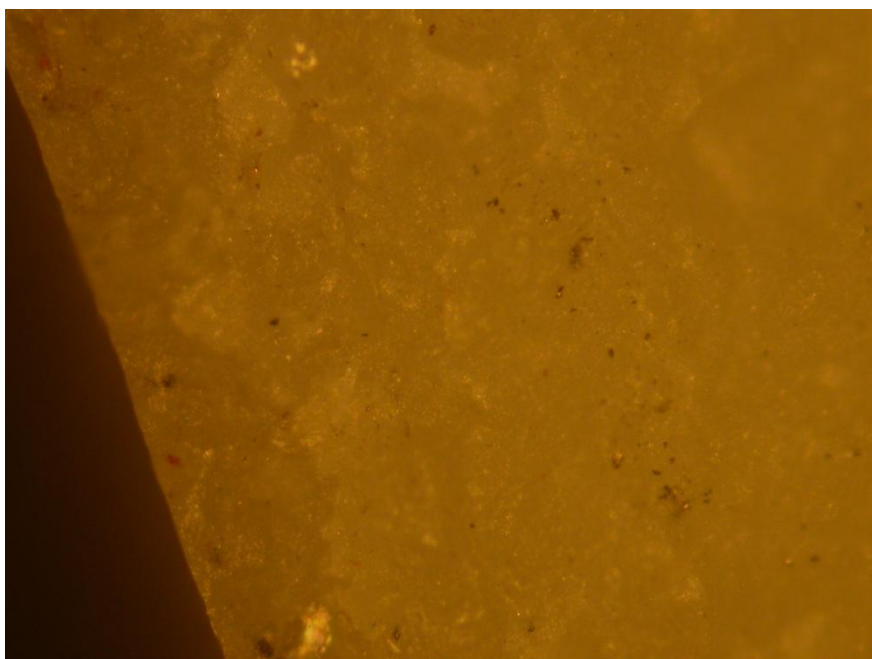
3. Praktická část

3.1 Struktura materiálu keramického nože

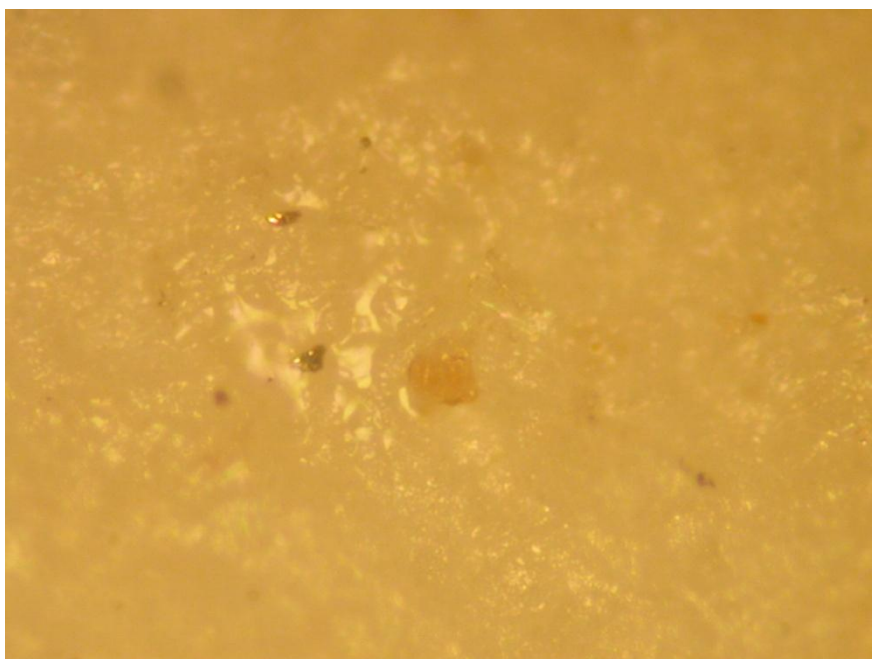
Bavíme-li se o struktuře keramického materiálu, můžeme na tento problém nahlížet z několika hledisek. Jeden pohled by mohl být z hlediska atomárního a druhý z hlediska mikroskopického, jednalo by se tak o mikrostrukturu. Při zkoumání mikrostruktury se používá zvětšení řádově v tisících a pro tyto účely je vhodné použít rastrovací elektronový mikroskop. Příprava vzorků pro toto pozorování je však časově i finančně náročnější. Po úvaze jsem se rozhodl, nezkoumat mikrostrukturu jako takovou, ale pouze si připravit vzorek tak, abych se mohl při zvětšení řádově kolem stovek, podívat na místo, kde došlo k odlomení špičky nože při běžném používání. Vzorek jsem připravil tak, že jsem si ulomenou špičku nože upnul do malého svěráčku. Vzorek jsem nikterak neupravoval, nechal jsem ho ve stavu, v kterém se nacházel po ulomení. Pak jsem použil optický mikroskop Neophot 32 ke zkoumání tohoto vzorku.

Na obrázku – Obr. 6 je vidět vzorek při dvěstěnásobném zvětšení. Jsou zde patrné tmavé nečistoty (vměstky), které nejsou rovnoměrně rozmístěné. V kapitole **3.4 Tvrdost** pak u těchto nečistot změřím tvrdost a srovnám ji s tvrdostí základního materiálu tj. s oxidem zirkoničitým. Na obrázku – Obr. 7 jsou nečistoty k vidění při zvětšení pětisetnásobném.

Je jasné, že tento způsob pohledu na strukturu materiálu je velice hrubý a nikterak nevystihuje skutečnou mikrostrukturu, která má pro tento druh materiálu veliký význam. Nejsem schopen určit ani porozitu (procentuální zastoupení pórů ve struktuře) a ani velikost zrna. Alespoň jsem touto cestou nahlédl do struktury lomu keramiky a zde jsem objevil přítomnost jistých nečistot, které by se vznikem lomu, mohli souviset.



Obr. 6



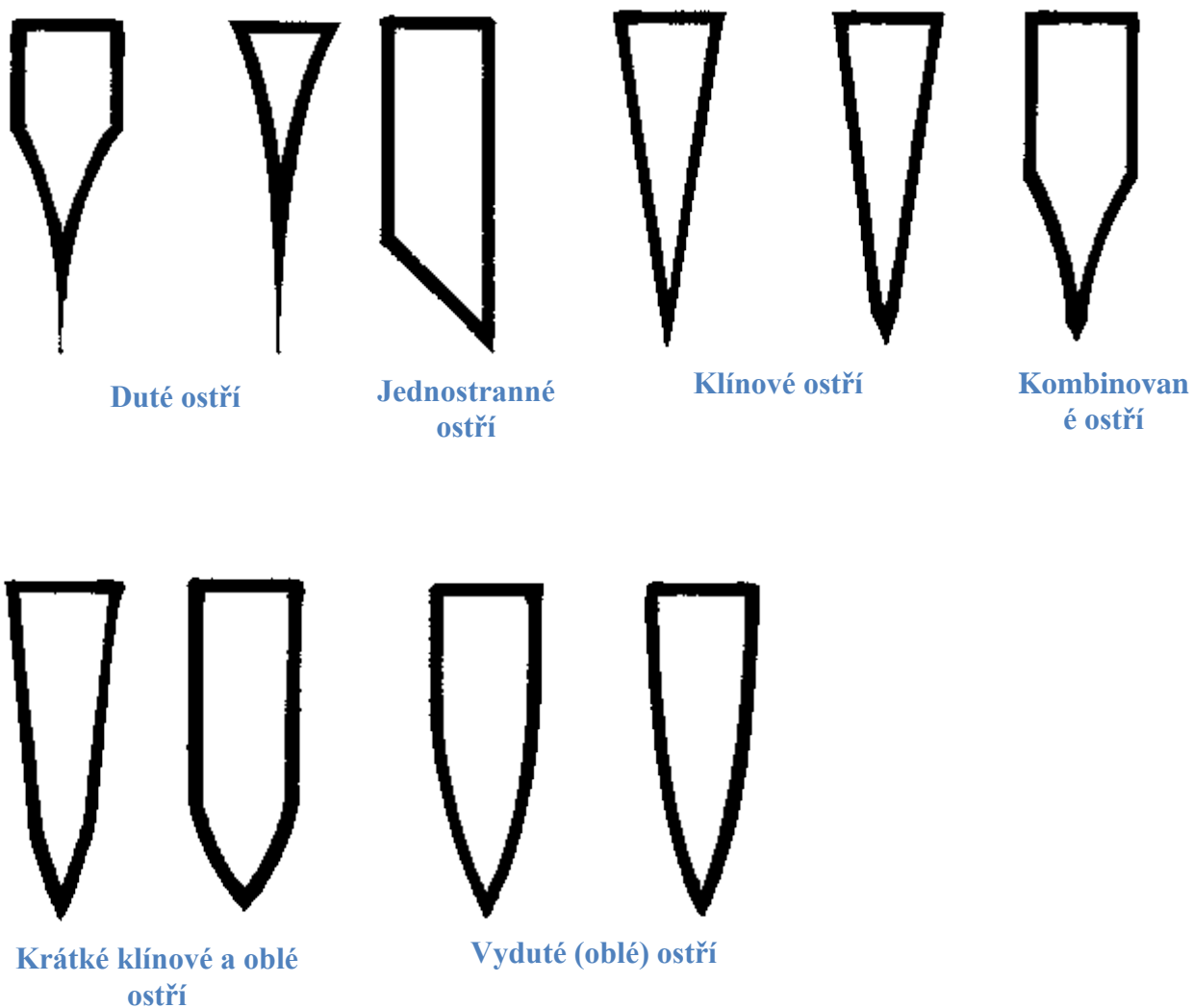
Obr. 7

3.2 Tvar ostří nože

Asi všichni víme to, že kvalitu nože určuje zejména použitý materiál, avšak chceme-li nůž udržet co nejdéle ostrý, musíme značnou pozornost věnovat správné volbě tvaru ostří. Tvar ostří se určuje na základě primárního použití nože. Asi si umíme představit, že nůž kuchyňský, nůž pro přežití či nůž bojový se od sebe právě tvarem ostří budou lišit. To je právě způsobeno použitím těchto nožů, ne každým ostřím jde dobře sekat a ne každým jde dobře řezat. Proto rozeznáváme několik hlavních druhů –

Obr. 8.

Obr. 8



Jen pro představu uvedu základní použití jednotlivých druhů ostří:

Duté ostří – vhodné pro menší nože, méně namáhaná ostří, pro svoji ostrost vhodné např. pro břitvy

Jednostranné ostří – neboli dlátové, je vhodné pro těžkou práci jako je třeba sekání, nejčastější provedení u bojových nožů.

Klínové ostří – jedná se o asi nejběžnější ostří, se kterým se u nožů setkáváme, pro svoje dobré řezací vlastnosti se používá např. u kuchyňských nožů

Kombinované ostří – nejčastěji se kombinuje klínové a duté ostří, lze však kombinovat i jiná

Krátké klínové a oblé ostří – ostří je určeno především na těžší práci, jako je sekání dřeva či dokonce drátu, nejčastější použití u armádních nožů anebo u nožů na přežití

Vyduté ostří – nevhodné pro řezání, používá se zejména u masivních nožů na přežití právě pro svoji odolnost

Já jsem srovnával provedení ostří jak u klasického kuchyňského nože – Obr. 9, tak u nože keramického – Obr. 10 (vždy na oddělené špičce). U keramického nože jsem měření prováděl v místě, kde došlo k ulomení špičky nože při běžném používání. U klasického ocelového nože jsem si špičku nože sám odříznul.



Obr. 9



Obr. 10

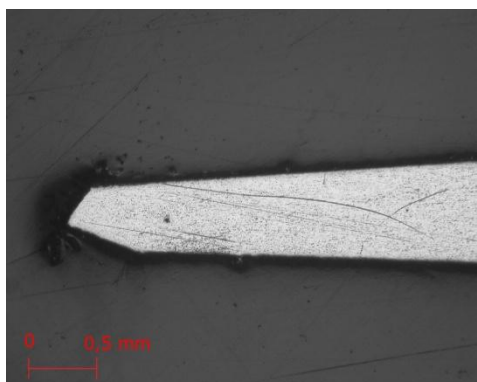
Podmínky měření

Měření jsem prováděl za pomoci optického mikroskopu NEOPHOT 32 v šikmém, polarizovaném světle při zvětšení 50x. K odměření úhlu ostří z fotografie jsem dále použil následující software:

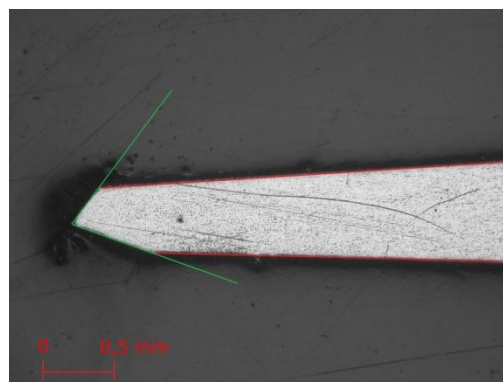
Malování (Microsoft) – nakreslení základních kontur

VariCad (VARICAD) – odměření úhlů z kontur

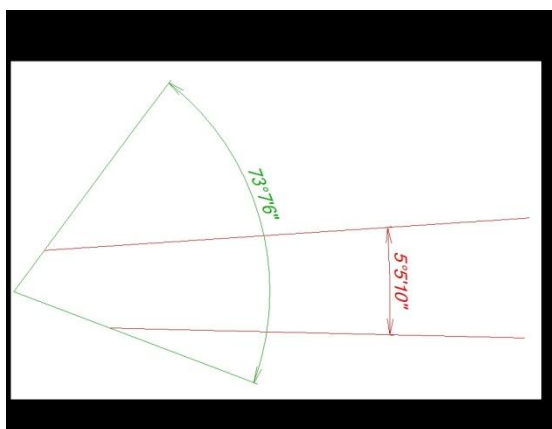
Nejprve uvedu hodnoty naměřené na klasickém ocelovém noži- Obr. 11, 12 a 13



Obr. 11



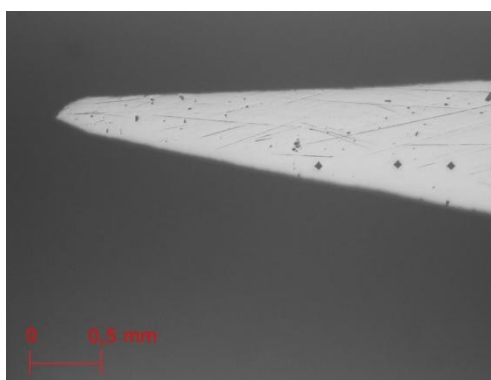
Obr. 12



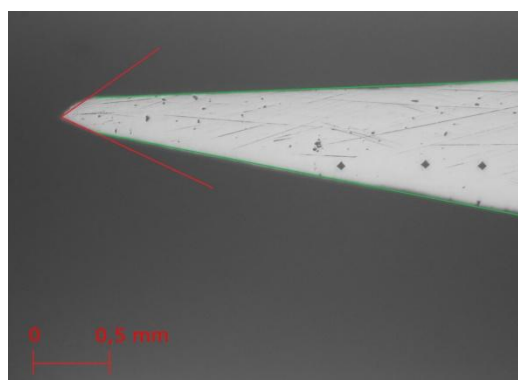
Obr. 13

Z obrázků je patrné, že se jedná o klínovité ostří a to přesně o dvojité klínovité ostří. Ostrý klín má vrcholový úhel $5^{\circ}5'10''$ a klín který je tupější má vrcholový úhel $73^{\circ}7'6''$. Dále je patrné, že tupější klín není rovnostranný, jak by se od dobře nabroušeného nože očekávalo. Je to právě způsobeno špatným broušením.

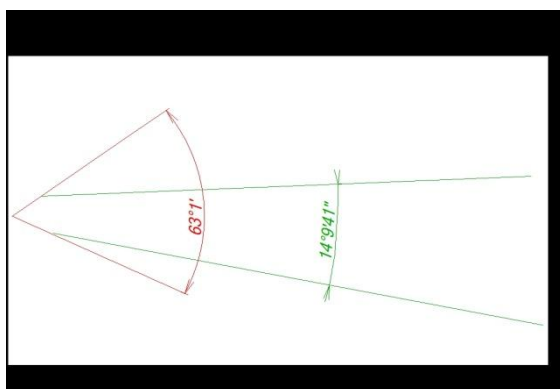
A teď hodnoty naměřené na keramickém noži – Obr 14, 15 a 16.



Obr. 14



Obr. 15



Obr. 16

Tak jako u klasického ocelového nože i zde se jedná o dvojité klínovité ostří, ale s jinými úhly broušení.

Ostrý klín má vrcholový úhel $14^{\circ}9'41''$ a klín, který je tupější má vrcholový úhel $63^{\circ}1'$. Zde je taky patrné, že klíny u keramického nože jsou více podobné ideálnímu stavu, tj. klíny jsou i po používání nože pravidelnější. Je to

samozřejmě způsobeno nemožností broušení nože v domácím prostředí, také menší houževnatostí, ale hlavně malou schopností plastických změn u keramiky, díky které nedochází k deformaci ostří. Je známo, že u keramiky se ostří spíše vyštípně ve formě šupinky. Naproti tomu u ocelového nože dojde k deformaci ostří, kterou lze snadno odstranit přetažením nože tzv. ocilkou (dojde k orovnění ostří).

3.3 Vzhled ostří

Jako další parametr porovnání keramického a ocelového nože, jsem si vybral vzhled ostří a tím i jeho možnost broušení v domácím prostředí. Je sice jasné, že u keramiky je domácí broušení téměř vyloučeno a to hlavně kvůli tvrdosti keramiky a tím i dražšího zařízení potřebného k broušení.

U ocelového nože se jedná o ostří rovné, tzn. bez zoubků – Obr. 17. Takové ostří se hodí k velmi přesnému čistému krájení. Hůře pak krájí tvrdý, nebo houževnatý materiál (zralé rajče). U ocelových kuchyňských nožů se jedná o nejpoužívanější druh



Obr. 17

ostří, vyjímaje nožů na pečivo či nožů příborových.

Naproti tomu keramický nuž je opatřen ostřím zoubkovaným – Obr. 18, které se pro krájení houževnatých materiálů hodí. V našem případě se jedná o mikrozuby – Obr. 19, které nemají takový vliv na životnost ostří,

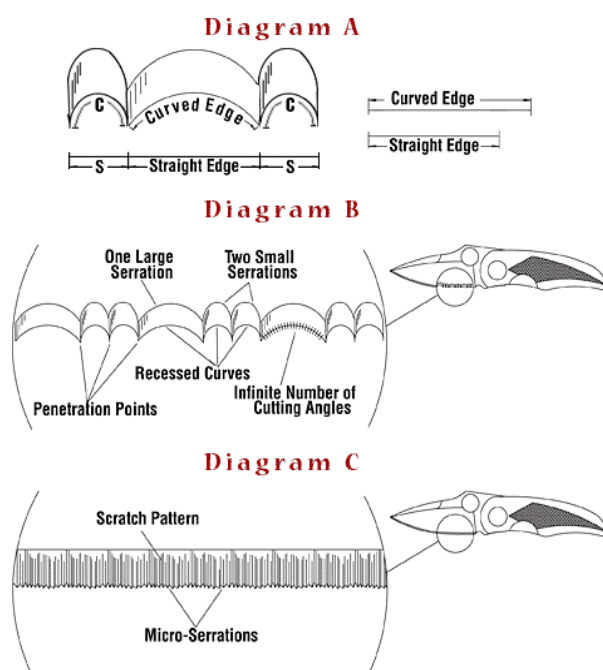
což platí pouze u nožů ocelových. Díky vyšší křehkosti keramických nožů

dochází k odštipování ostří. Tyto mikrozuby zde fungují jako vruby a koncentrátoři napětí, odkud se praskliny šíří. Avšak tyto mikrozuby pozitivně ovlivňují schopnost



Obr. 18

nože řezat. Tento typ ostří není vyráběn použitím speciálního tvaru nástroje, pro jeho výrobu postačí vhodná volba drsnosti brusného nástroje (brusiva).



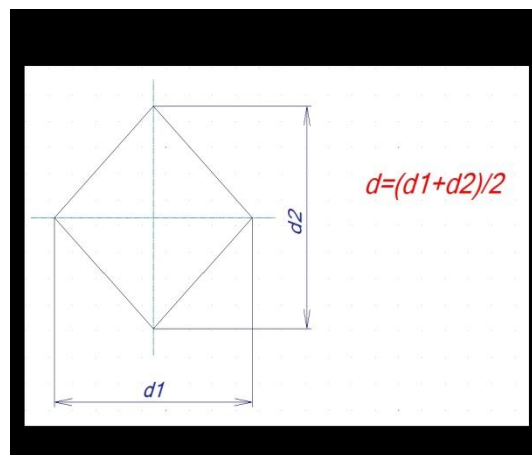
Obr. 19

Volba typu ostří není tak jednoduchá a většinou záleží na tom, k čemu se nůž bude používat. Nemůže se také opomenout vliv materiálu nože a také výrobce. Při výrobě nůžů v neposlední řadě hraje vliv tradice

3.4 Tvrdost

Tvrdost je obecně odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa. V případě použitého způsobu měření tvrdosti Vickersovou metodou se jedná o vnikání diamantového, čtyřbokého jehlanu o vrcholovém úhlu 136° . Jehlan je vtlačován definovanou silou po určitý čas. Měřítkem tvrdosti je plocha vtisku při dané síle. $HV = F/S$ (F je zatěžující síla a S je plocha vtisku) – Obr. 20.

V případě keramického nože byl jehlan vtlačován do plochy vzniklé lomem, která byla pro tento druh měření vyleštěna. Měření bylo prováděno jak vtlačováním do keramiky samé, tak do vměšků – Obr. 21. U keramiky bylo měření prováděno dvěma



Obr. 20

Silami, u vměstků silou jednou – Tab. 4 a, b, c .

Příprava povrchu zkušebních vzorků

- 1) Malý svěráček (pro upnutí špičky nože)
- 2) Brusné papíry pro broušení pod vodou
- 3) Diamantové brusivo pro finální leštění

Podmínky zkoušky

Síla zatěžující:	a) 5N
	b) 1N
	c) 1N
Čas zatěžování:	a) 12s
	b) 12s
	c) 12s
Objektiv:	a)40x
	b)40x
	c)40x
Přístroj:	Micromet 2100 Series

Číslo měř.	d1 (μm)	d2 (μm)	d (μm)	HV 0,5
1	26,3	26,3	26,3	1338,1
2	26,7	26,5	26,6	1310,1
3	26,9	26,7	26,8	1286,5
4	25,9	25,9	25,9	1378,9
ar. Průměr				1328,4

Tab. 4 a

Číslo měř.	d1 (μm)	d2 (μm)	d (μm)	HV 0,01
1	7	7,7	7,4	342,1
2	11,9	5,1	8,5	254,6
3	7,2	7,6	7,4	336,8
4	8,3	6,4	7,3	346,4
5	9,1	8,2	8,6	248,1
6	9,1	7,7	8,4	261,2
7	8,3	6,9	7,6	322,8
ar. Průměr				301,7

Tab. 4 b

Číslo měř.	d1 (μm)	d2 (μm)	d (μm)	HV0,01
1	3,1	2,9	3	2082,1
2	3,1	3,1	3,1	1912,5
3	2,9	2,1	2,5	3032,8
4	3,1	2,9	3	2082,1
5	3,3	4,1	3,7	1353,3
6	3,3	3,1	3,2	1826,8
7	2,9	2,9	2,9	2221,5
ar. Průměr				2073,0

Tab. 4 c



Obr. 21

Pro srovnání uvádím tvrdost běžného ocelového nože, který dobře známe z našich kuchyní. Jedná se o nůž českého výrobce, jež ho vyrábí z materiálu, který označuje anticorro.

Nůž byl také měřen Vickersovou metodou, naměřené hodnoty uvádím v tabulce - Tab. 5.

Podmínky zkoušky

Zatěžující síla	5N
Doba zatěžování	12s
Objektiv	40x
Přístroj	Micromet 2100 Series

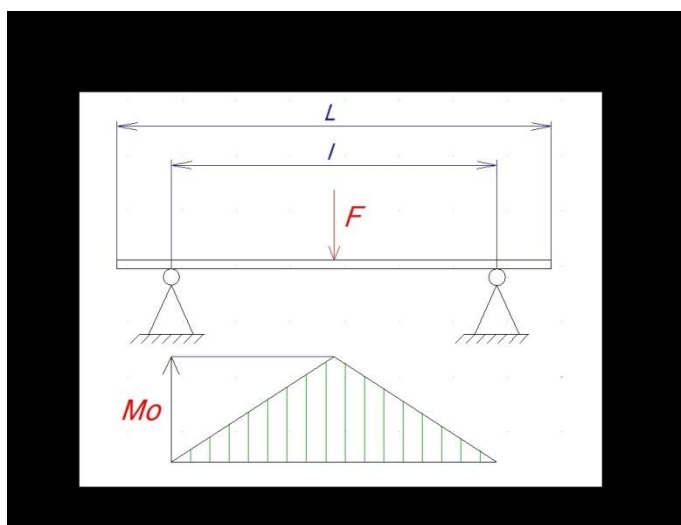
Číslo měř.	d1 (μm)	d2 (μm)	d (μm)	HV 0,5
1	37,6	37,5	37,6	657,4
2	38,1	37,9	38	641,2
3	37,4	37,7	37,6	656,2
4	38,1	37,9	38	642,9
ar. Průměr				649,425

Tab. 5

Výrobce k výrobě keramických nožů používá částečně stabilizovaný oxid zirkonia ($97\% \text{ZrO}_2 + 3\% \text{Y}_2\text{O}_3$), pro který udává tvrdost HV 1300 kg/mm². Tato hodnota zhruba odpovídá naměřené tvrdosti. Ve struktuře jsem také našel cizí částičky (vměstky), u kterých jsem naměřil tvrdost HV 301,7 kg/mm². To by mohlo odpovídat měkkému kovu. Výrobce totiž na svých internetových stránkách uvádí, že před lisováním vmíchává do prášku kov tak, aby mohl být výsledný nůž zachycen na detektoru kovů. Bohužel, se mi nepodařilo zjistit o jaký kov, by se mělo jednat.

Z naměřených hodnot lze snadno vidět, který s nožů je tvrdší a tudíž, který s nožů je schopen si déle udržet tvar ostří. Tvrdost keramického nože je zhruba 2x větší než tvrdost mnou srovnávaného nože ocelového.

3.5 Pevnost v ohybu



Obr. 22

Pevnost ohybu byla určena pomocí zkoušky ohybem tzv. trojosý ohyb – Obr. 22. Jedná se o zkoušku statickou, která se používá zejména pro zjištění mechanických vlastností u křehkých materiálů a ověření vlastností svařových spojů. Zkouška spočívá v zatěžování

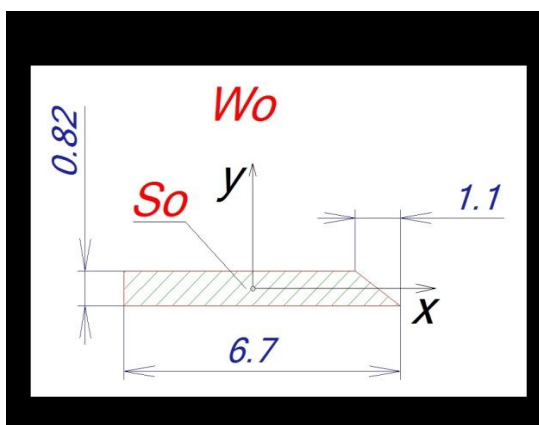
zkušební tyče silou, která v průběhu času pomalu narůstá do doby, než dojde k porušení zkušební tyče. Zkušební tyč, jak je vidět z obrázku č. 22, je uložena na dvou podporách a zatěžována silou přesně ve středu uložení. Tato zkouška byla prováděna na břitu škrabky, která má obdélníkový charakter – Obr. 23. Pevnost v ohybu je dána vztahem:

$$R_{mo} = M_o / W_o,$$

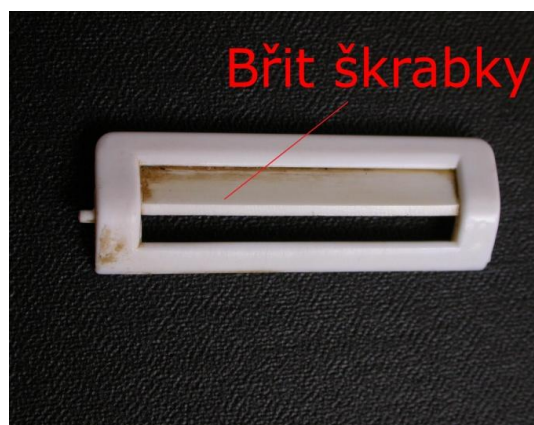
W_o – modul průřezu

M_o – ohybový moment

Zkouška byla prováděna na trhacím stroji **Instron Model 4202**. Před samotnou zkouškou musel být nejdříve břit škrabky vypreparován – Obr. 24.



Obr. 23



Obr. 24

Podmínky zkoušky

Zaoblení podpor – R5;R2,5;R2,5

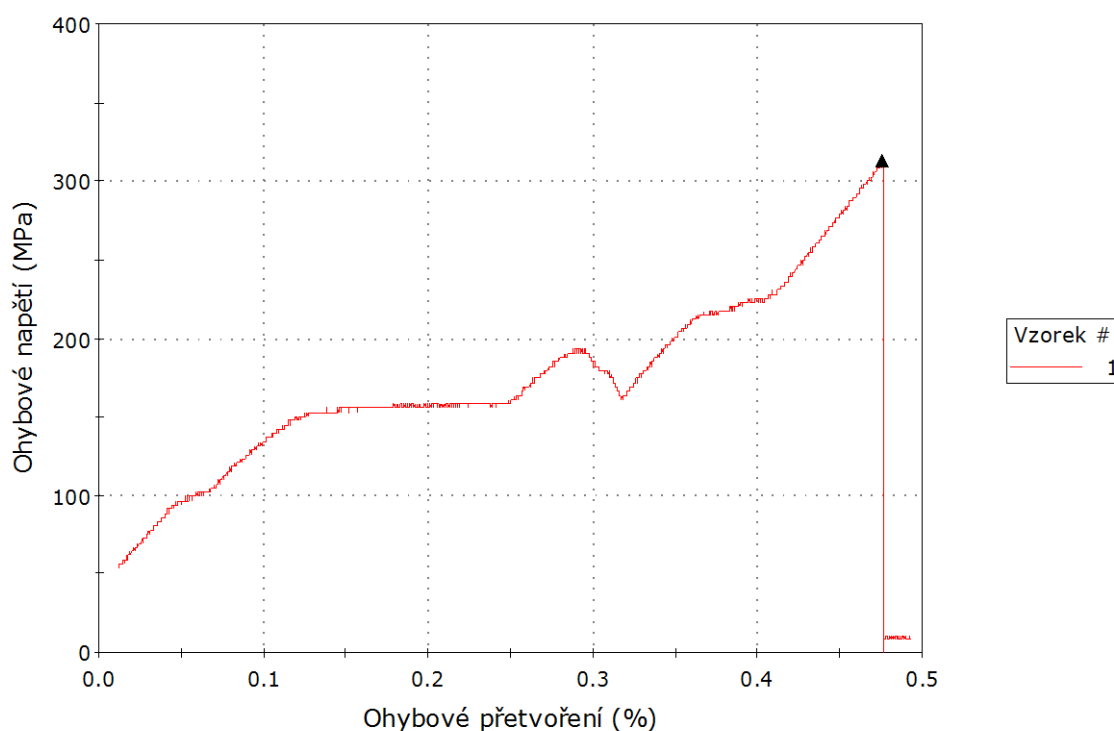
Vzdálenost podpor – 30mm

Výsledky zkoušky ohybem jsou uvedeny v přehledové tabulce – Tab. 6 a v pracovním diagramu – Obr. 25.

Tab. 6

Průřezový modul W_o (mm ³)	Max. síla F_{max} (N)	Max. ohybové napětí (MPa)	Max. ohybový moment M_o (Nmm)	Max. ohybové přetvoření (%)
0,751	31,41	313,746	235,58	0,476

Vzorek 1 až 1



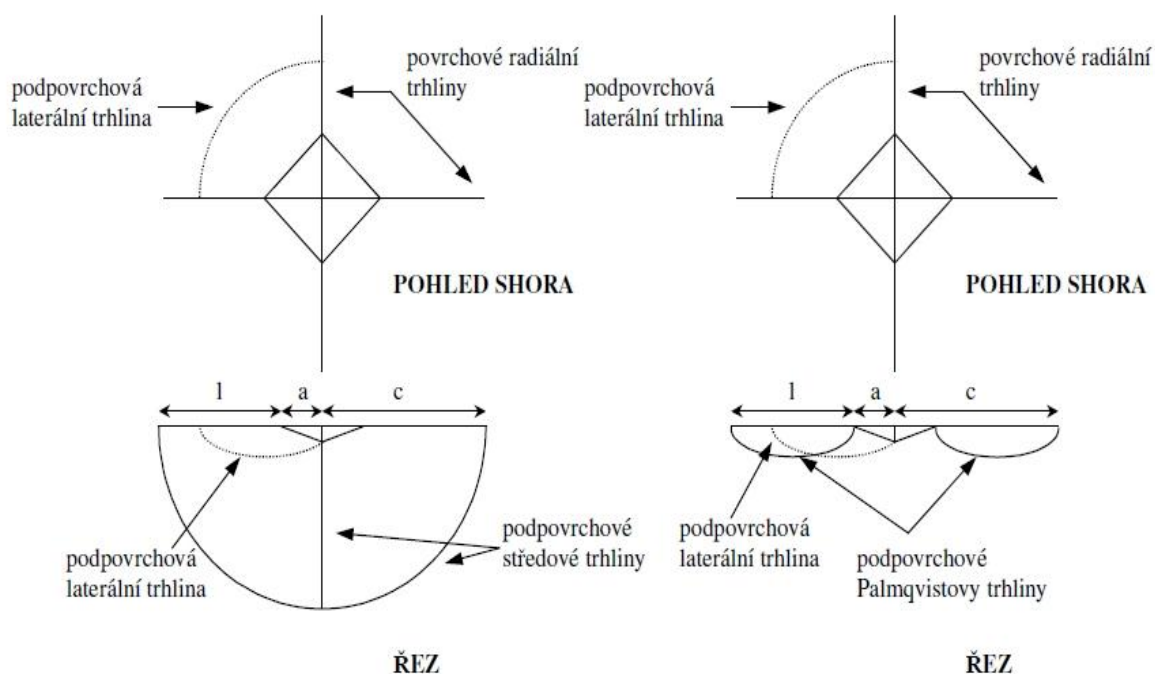
Obr. 25

V pracovním diagramu jsou k vidění oblasti, kde dochází k růstu ohybového přetvoření, ale nedochází k růstu ohybového napětí. To je pravděpodobně způsobeno působením oxidu Y_2O_3 . Vzhledem k tomu, že se jedná o vzorek keramiky ZrO_2 , která je částečně modifikovaná působí zde oxid Y_2O_3 podle již dříve popsaného mechanismu a zvyšuje tak houževnatost této keramiky.

Obecně se udává hodnota meze pevnosti v ohybu u této keramiky (částečně stabilizovaný oxid zirkoničitý) okolo 1000MPa. Já jsem při svém experimentu naměřil hodnotu 313,476Mpa, což je hodnota téměř třetinová. Pravda je ta, že jsem toto napětí neměřil na noži samotném, ale na škrabce a také jen na jednom vzorku, ale i tak se mi skoro třetinová hodnota oproti hodnotě tabulkové zdá velmi malá. Maximální ohybové přetvoření je 0,476 %, což odpovídá předpokladu. Keramika má obecně malou možnost přetvoření a to díky své krystalografické struktuře.

3.6 Lomová houževnatost

Stanovení hodnot lomové houževnatosti K_{IC} je s hlediska keramických materiálů velice důležité, ale experimentálně velmi obtížné. Dnes se obecně používají zhruba dva způsoby zjištění lomové houževnatosti. Zjednodušeně se dá říci, že se jedná o způsob americký a způsob japonský. Obě tyto metody jsou popsány normou. Metoda dle americké normy **ASTM 1304-89** je charakterizována zkušební tyčkou, která je opatřena speciálními ševronovými vruby. Japonská metoda popsána normou **JIS R 1607** je pro většinu laboratoří mnohem dostupnější a dá se použít pro mnohem širší rozměrovou škálu vzorků. Metoda spočívá v měření tvrdosti Vickersovou metodou, kdy při vpíchnutí diamantového hrotu vzniká na povrch čtvercový vtisk, z jehož vrcholů vybíhají trhlinky. Platí, že čím jsou trhlinky delší, tím je lomová houževnatost menší. Důležitým faktorem této zkoušky je zjištění o jaké trhliny se jedná a podle toho pak dále postupovat při stanovení lomové houževnatosti. Na obrázku – Obr. 26 jsou znázorněny druhy trhlín. Jedná se o trhliny radiálně středové (centrální) trhliny a o trhliny Plamqvistovy trhliny.



Obr. 26

Já sám jsem pro stanovení lomové houževnatosti postupoval podle japonské metody a tvrdost a trhlinky jsem měřil ve vyleštěné rovině, kde jsem předtím měřil tvrdost keramiky

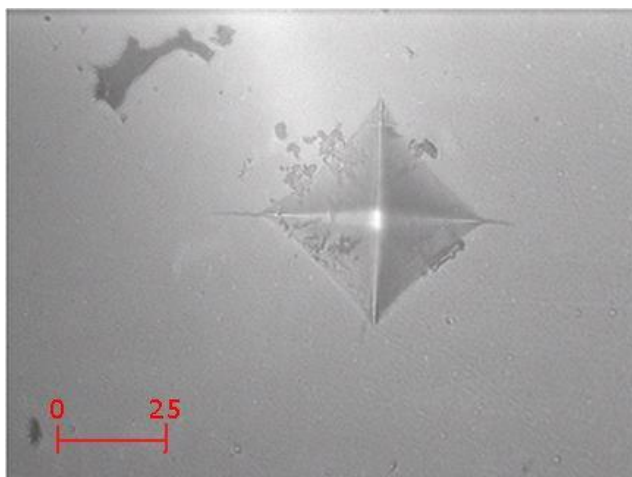
Podmínky měření

Metoda	Vickers
Objektiv	40x
Zatížení	HV2 (20 N)
Doba zatížení	12 s
Přístroj	Micromet 2100 Series

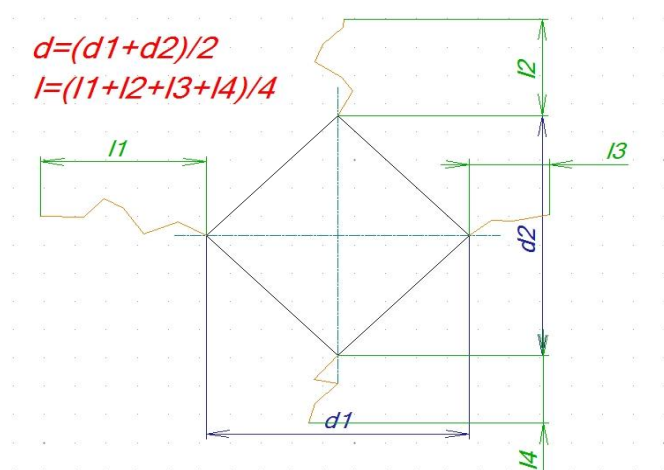
V tabulce – Tab. 7 jsou naměřené hodnoty a na obrázku – Obr. 27 je zobrazen skutečný vtisk společně s trhlinkami, tak jak jsme ho získali po prvním vpichu. Obrázek – Obr. 28 pak schematicky znázorňuje podobu vtisků společně s trhlinkami.

Číslo vpichu	HV 2	Délka úhlopříček			Délka trhliny				
		d1 (μm)	d2 (μm)	d (μm)	l1 (μm)	l2 (μm)	l3 (μm)	l4 (μm)	l (μm)
1	1233,1	54,6	55,1	54,8	-	-	-	-	-
2	1241,8	54,9	54,4	54,6	3,9	7,6	-	-	5,75
3	1270,6	53,8	54,2	54	4,93	6,98	9,03	-	6,98
4	1261,5	53,4	55	54,2	8,42	7,19	7,6	-	7,74
5	1233,1	54	55,7	54,8	13,14	5,95	-	-	9,55
pr.	1248,02								

Tab. 7



Obr. 27 – vyznačené měřítko je v μm



Obr. 28

Po uskutečnění pěti vtisku jsem následně vyhodnotil o jaký druh trhlin se jedná. V mém případě se jednalo o trhliny Plamqvistovy. Protože platila podmínka $0,25 < l/a < 2,5$ použil jsem vzorce:

$$l = c - a \quad (1)$$

$$a = d/2 \quad (2)$$

$$K_{IC} = 0,0089 * P * (E/HV)^{2/5} / (a l^{1/2}) \quad (3)$$

$$HV = pr.HV * g * 10^6 \quad (4)$$

K_{IC} – lomová houževnatost ($\text{Pa/m}^{1/2}$)

E – Yangův modul pružnosti (Pa)

HV – Vickersova tvrdost (Pa)

P – zatěžující síla (N)

c – polovička pr. délky trhliny (m)

a – polovička pr. délky úhlopříčky vtisku (m)

l – průměrná délka trhliny (m)

g – tíhové zrychlení (m/s^2)

V tabulce – Tab. 8 jsou uvedeny průběžné i výsledné hodnoty, které jsem vypočítal dle výše uvedených vzorců.

pr. l (m)	pr. d (m)	a (m)	c (m)	P (N)	HV (Pa)	E (Pa)	Kc ($\text{Pa/m}^{1/2}$)
$7,50 \cdot 10^{-6}$	$54,48 \cdot 10^{-6}$	$27,24 \cdot 10^{-6}$	$34,74 \cdot 10^{-6}$	20,00	$12,24 \cdot 10^9$	$211,00 \cdot 10^9$	$7,45 \cdot 10^6$

Tab. 8

Získaná hodnota lomové houževnatosti tj. $7,45 \cdot 10^6 \text{ Pa/m}^{1/2}$ ukazuje spíše na fakt, že na výrobu nože nebyla použita keramika částečně stabilizovaná, míněn částečně stabilizovaný oxid zirkoničitý, ale keramika nestabilizovaná. Avšak dobře víme, že podle jednoho měření nelze dělat obecné závěry a navíc nestabilizovaný oxid

zirkoničitý se pro výrobu moc nehodí a takový to nůž by v praxi moc dlouho nevydržel.
To hlavně kvůli své křehkosti.

4. Závěr

V předložené bakalářské práci byly představeny keramické nože vyráběné z PSZ-(částečně stabilizovaná-ZrO₂ keramika), která je v tomto případě stabilizovaná 3mol% Y₂O₃. Srovnáním vzorku keramického nože se vzorkem nože ocelového jsem zjistil, že se v obou případech nože brousí do stejného tvaru (do tvaru dvojitého klínovitého ostří), a však pod jinými úhly. U keramického nože byly úhly 14°9'11" ostrý úhel a 63°1' tupější úhel. U nože ocelového to byly úhly 5°5'10" ostrý úhel a 73°7'6" tupější úhel. Srovnáním vzhledu ostří jsem zjistil, že se u keramického nože jedná o ostří zoubkované (mikrozuby) a u nože ocelového o ostří rovné. Při zkoumání struktury keramického nože jsem zjistil v místě lomu nečistoty, u kterých jsem naměřil mikrotvrdot HV0,01 301,7. Tvrdot keramiky samé jsem naměřil HV0,5 1328,4 a mikrotvrdot HV0,01 2073,0. Naměřená tvrdost se od hodnoty udávané výrobcem (HV 1300), příliš neliší. Pevnost v ohybu jsem stanovil za pomoci tříosého ohybu a naměřil jsem hodnoty: maximální ohybové napětí 313,746 MPa a maximální ohybové přetvoření 0,476%. Zjištěná pevnost v ohybu se od pevnosti v ohybu udávané výrobcem (1000MPa) značně liší. Myslím, že fakt, že tato zkouška probíhala na keramické škrabce, se na výsledku nepodepsal. Pro zbylé hodnoty nelze udělat srovnání, výrobce je neuvádí. Lomovou houževnatost jsem naměřil $K_{IC}=7,45 \cdot 10^6 \text{Pa/m}^{1/2}$. Tato hodnota se od hodnoty udávané výrobcem ($K_{IC}>10 \text{MPa/m}^{1/2}$) liší také a je menší.

V budoucnu by bylo jistě zajímavé stanovit mechanické vlastnosti na více vzorcích, což by mělo pro posouzení kvality těchto nožů větší váhu. I pohled na strukturu tohoto materiálu by bylo lepší provést za pomoci rastrovacího elektronového mikroskopu a stanovit tak parametry, které jsou pro tento druh materiálu velmi důležité. Mělo by se jednat hlavně o stanovení velikosti zrna a porozity.

Keramické nože mají jistě před sebou zajímavou budoucnost, ale asi nikdy nedokážou nahradit nože ocelové.

Literatura:

1. J. Janovec, J. Cejp, J. Stejdl: Perspektivní materiály, skriptum ČVUT, Praha, 1995
2. K. Vasilko a kol.: Nové materiály a technologie jich spracovania, ALFA, Bratislava, 1990
3. K. Macek, P. Zuna a kol.: NAUKA O MATERIÁLU, ČVUT, Praha, 1999
4. J. Matoušek: ANORGANICKÉ NEKOVOVÉ MATERIÁLY, skriptum VŠCHT, Praha, 1992
5. Russell J. Page, Robert A. Short, Carl R. Halbach: EVALUATION OF ZIRKONIA, THORIA AND ZIRCONIUM DIBORIDE FOR ADVANCED RESISTOJET USE, ARTCOR, Irvine, California, 1972
6. Internetové prezentace firem, vyrábějících keramické nože